

SVEUČILIŠTE U DUBROVNIKU
ODJEL ZA ELEKTROTEHNIKU I RAČUNARSTVO
STUDIJ ELEKTROTEHNIČKE I KOMUNIKACIJSKE
TEHNOLOGIJE U POMORSTVU

ZAVRŠNI RAD
**VIRTUALNA STVARNOST I UREĐAJI
ZA REPRODUKCIJU VIRTUALNE STVARNOSTI**

Mentor: prof. dr. sc. Srećko Krile
Komentorica: dr. sc. Anamaria Bjelopera

Student: Toni Jurjević

Dubrovnik, rujan 2017.

Sažetak

Virtualna stvarnost i uređaji za reprodukciju virtualne stvarnosti

Definicija virtualne stvarnosti dolazi od definicija obiju riječi „virtualno“ i „stvarnost“. Definicija riječi „virtualno“ može značiti mnogo stvari, no vezana uz stvarnost, definirana je kao „bliska verzija stvarnosti“.

Ovim radom prisjećamo se da svijet spoznajemo isključivo kroz naša osjetila i sustave percepcije. Uređaji za reprodukciju virtualne stvarnosti, popraćeni razvijenim softverom, proizvedeni su s namjerom da zavaraju naša osjetila i pruže nam stvaran osjećaj virtualnog prostora. Nadalje, kroz rad se susrećemo s različitim iteracijama uređaja za reprodukciju virtualne stvarnosti te opisujemo njihove karakteristike i kako pomoću njih korisnik komunicira tj. vrši interakciju s virtualnom okolinom.

Ključne riječi:

virtualna stvarnost, VR, sučelje, korisnik, vizualno, oči, tijelo, sila, percepcija, pozicija, orijentacija, hardver, softver, sustavi, iteracija, performanse, robusnost, komunikacija, povratna informacija.

Summary

Virtual reality and the equipment for its reproduction

The definition of virtual reality comes from the definitions for both „virtual” and „reality”. The term „virtual reality” basically means „near-reality”. This could, of course, mean anything but it usually refers to a specific type of reality emulation.

Here, we remind ourselves that we perceive the world through our senses and perception systems. Devices that are meant for reproduction of virtual reality, accompanied by its developed software, are created to fool our senses and provide us with a real feeling of virtual environment. Throughout this final work, we will encounter different iterations of these devices, describe their characteristics and highlight the user communication and interaction with the virtual environment.

Key words:

virtual reality, VR, interface, user, visual, eyes, body, force, perception, position, orientation, hardware, software, systems, iteration, performance, robust, communication, feedback.

Sadržaj

Uvod	1
1. Povijest virtualne stvarnosti.....	2
1.1. Evolucijska perspektiva: bolja korisnička sučelja	3
1.2. Revolucijska perspektiva: nove primjene	4
2. Uvjeti	7
2.1. Korisnički unos.....	7
2.2. Povratna informacija.....	8
2.2.1. Vizualna percepcija.....	8
2.2.2. Percepcija zvuka	9
2.2.3. Percepcija sile, dodir i pozicija	10
2.2.4. Percepcija mirisa.....	11
3. Hardverska rješenja za doživljaj virtualne stvarnosti	12
3.1. Praćenje pozicije / orijentacije.....	12
3.1.1. Praćenje očiju	13
3.1.2. Kretanje cijelog tijela.....	13
3.1.3. VR naočale.....	14
4. Softverska podloga za virtualnu stvarnost	17
4.1. Komunikacija čovjeka i stroja	17
4.1.1. Iterativni postupak izgradnje.....	17
4.1.2. Paralelno programiranje	18
4.1.3. Performanse.....	19
4.1.4. Robusnost.....	19
4.1.5. Modularizacija	19
4.1.6. Presentacija informacija	19
5. Zaključak.....	21
Literatura.....	23

Uvod

Ovaj rad pruža uvid u područje virtualne stvarnosti, tehnoloških zahtjeva za izradu i reprodukciju virtualne stvarnosti te trenutno dostupna rješenja. Rad je organiziran u više odjeljaka. Odjeljak 1 sadrži povijest i opisuje motivaciju iza istraživanja virtualnog okoliša te opisuje područja primjene. 2. odjeljak uključuje karakteristike nužne kako bi jedan sustav virtualne stvarnosti u potpunosti iskoristi percepcijske i prostorne sposobnosti korisnika. Odjeljak 3 obuhvaća trenutne ulazno/izlazne uređaje koji se koriste za virtualnu stvarnost. U 4. odjeljku objašnjeni su trenutni programi koji se koriste za kreaciju virtualne stvarnosti. U posljednjem odjeljku nalazi se zaključak rada.

1. Povijest virtualne stvarnosti

Koncept virtualne stvarnosti (engl. *Virtual Reality*) sam po sebi nije nov. Korijeni VR-a mogu se popratiti unazad do seminarskog rada Ivana Sutherlanda pod nazivom "The Ultimate Display" [1] iz 1965. godine u kojem nas upoznaje s ključnim konceptima potpunog uranjanja u virtualni svijet, uključujući i opis svih ulaznih i izlaznih senzora koji su danas baza u istraživanjima virtualne stvarnosti. Sutherland je budućim generacijama zadao sljedeći izazov:

„Zaslon je prozor kroz koji se vidi virtualni svijet. Izazov je načiniti da taj svijet izgleda stvarno, ponaša se stvarno, zvuči stvarno, te korisniku daje stvaran osjećaj“ [1].

Taj je izazov postao motivacija za rastuću zajednicu istraživača i znanstvenika u ovom području. Iz evolucijske perspektive, na virtualnu stvarnost se gleda kao na način kojim bi se prekoračilo preko ograničenja standardnog korisnik – računalo sučelja. Iz revolucijske perspektive se na VR gleda kao na tehnologiju koja otvara vrata novim primjenama koje mogu koristiti mogućnosti ljudske prisutnosti.

Na prijelazu iz šezdesetih u sedamdesete godine 20. stoljeća, istraživanja u raznolikim područjima formirala su bazu virtualne stvarnosti, kakvom je doživljavamo danas (VR naočale, VR projektori). Međutim, virtualne okoline postojale su i prije, u smislu simulacija



Slika 1.1 VR simulator Sensorama

[2]. Tehnologija prikaza takve okoline bila je u obliku sučelja sa zaslonom (Slika 1.1). Početkom 1980., na MIT-u je kreirano trodimenzionalno virtualno područje unutar kojega su korisnici manipulirali 3D grafičkim objektima, izravno povezano odgovarajućoj prostornoj poziciji ruke. 1984. godine NASA je započela VIVED (engl. *Virtual Visual Environment Display*) projekt, a kasnije i VIEW (engl. *Virtual Visual Interactive Workstation*) projekt, čiji

su zadaci bili stvaranje višenamjenskog, multimodalnog operacijskog sučelja koje će interakciju s kompleksnim zadacima i velikim autonomnim integriranim sustavima učiniti prirodnijom [3].

VR se široj javnosti predstavlja tek 1989. od strane „VPL Research“ i „Autodesk“, dvije kompanije koje su surađivale s NASA-om te su u više navrata javnosti prezentirale uređaje i naočale za interakciju s virtualnom okolinom. Termin „Virtual Reality“ potječe iz tog razdoblja od strane Jaron Lanier-a, osnivača VPL Research-a pri čemu ga je definirao kao:

„Računalno stvorena, interaktivna, trodimenzionalna okolina u koju korisnik uranja!“

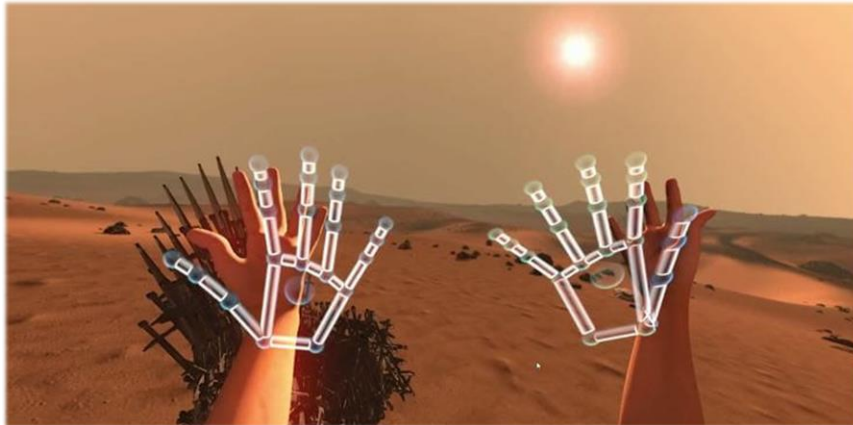
Od tog trenutka, VR je zarobila maštu javnosti i mnogo se istraživanja provelo u duhu maksimalnog iskorištavanja mogućnosti ove tehnologije u raznim primjenama, kao što su medicina, kemija, znanstvena vizualizacija, itd.

Iako se čini da VR tehnologija napreduje već dugi niz godina, u biti se tek u zadnje vrijeme počela sve više odmicati od teorije i približavati praksi. VR sustavi počinju demonstrirati praktičnu efektivnost u pravim industrijskim postrojenjima, gdje rade bez premca i pogreške.

1.1. Evolucijska perspektiva: bolja korisnička sučelja

Posljednjih desetljeća razvoj računala se uzdizao u svakom pogledu, s ciljem postizanja bolje i lakše korisnik – računalo interakcije. Tako se najuspješnijom pokazala takozvana „desktop“ metafora koja uvelike pojednostavnjuje učenje i snalaženje u dvodimenzionalnom svijetu. Međutim, prave granice desktop metafore dolaze na vidjelo kada se vrši interakcija u tri dimenzije. Neadekvatnost sučelja baziranih na 2D ulaznim uređajima postaje naročito jasna u aplikacijama koje zahtijevaju kompleksne prostorne informacije, kao što su 3D modeliranje i animacija [4], kontrola kretanja ili pak površinsko modeliranje. Kako bi se pri radu u trodimenzionalnom svijetu snalazili, potrebno je da korisnici koriste poglede iz različitih kutova čime se ostvaruje informacija o dubini kompleksnog objekta. To samo pridodaje kompleksnosti ovog, nerijetko teškog zadatka, prisiljavajući pri tom korisnike da se koncentriraju više na to kako održati ono što su do danog trenutka kreirali, a manje na sami zadatak. Postaje potpuno jasno da se moraju razviti nove metafore sučelja i konfigurirati ulazni uređaji koji će omogućiti korisnicima rad izravno u trodimenzionalnom svijetu.

Istraživanja u području VR-a teže korisnicima unutar virtualne stvarnosti omogućiti jednostavnost interakcije s okolinom (Slika 1.2), odnosno da se čim bolje iskoristi njihove motoričke i kognitivne sposobnosti. Time bi se uvelike smanjio period privikavanja korisnika na sučelje jer se interakcija čini potpuno prirodnom.



Slika 1.2 Upoznavanje korisnika sa VR sučeljem

1.2. Revolucijska perspektiva: nove primjene

Virtualna stvarnost je mnogo više od same interakcije s trodimenzionalnom okolinom. Nudeći korisniku mogućnost prisustva kao metaforu sučelja, omogućuje mu se izvršavanje zadataka na udaljenosti u stvarnosti, računalno generiranoj virtualnoj stvarnosti ili pak kakvoj objedinjenoj kombinaciji. Računalno generirana, odnosno simulirana virtualna okolina ne mora nužno podlijevati zakonima fizike pa se kao takva koristi u raznovrsnim primjenama ljudskih aktivnosti.

Neke primjene, naravno imaju više koristi od VR-a, nego druge. Na primjer virtualno prototipiranje [5]. Odluke koje se donose tijekom dizajniranja velikih inženjerskih projekata često su one najosjetljivije, s obzirom na njihov efekt na finalni produkt, vrijeme i novac. Virtualni 3D modeli se iz tog razloga koriste u fazi dizajniranja kako bi se testirala integracija opreme, pristupačnost i prostorni uvjeti. Na ovakvu primjenu nailazimo od proizvodnje unutar zračne i automobilske industrije, pa do arhitekture. Virtualno prototipiranje pruža dizajnerima mogućnost testiranja svojih kreacija koristeći modele s integriranim fizikalnim algoritmima, čime se na vrijeme mogu uočiti pogreške, odnosno slabe točke dizajna prije konačne izvedbe, štedeći time vrijeme i novac.

Jedna od najuspješnijih primjena virtualne stvarnosti ostvarena je u području arhitekture, gdje se takozvanim „prohodom“ (engl. *walkthrough*) omogućilo dizajneru da klijentu vjerno prikaže trodimenzionalan izgled građevine [6]. Ovakve vrste primjene virtualne stvarnosti od iznimne su važnosti kada u pitanje dođe testiranje. Kako bi prekoračili neka ograničenja standardiziranih programa za virtualno prototipiranje, mnogi proizvođači tijekom proizvodnje često razvijaju vlastite alate za virtualno prototipiranje. Tako, na primjer Rolls-Royce koristi vlastiti „ISS VR Demonstrator“ kojim može procijeniti što je sve potrebno za izgradnju određenog motora te koliko ga je teško održavati. *Boeing* je pri dizajniranju svojih 777 klasa aviona koristio svoj vizualizacijski sustav visokih performansi kako bi maksimizirao broj sjedećih mjesta odnosno prtljažnog prostora, a pri tom minimizirao potrošnju [7]. CERN je razvio i3D sustav kao virtualnu potporu pri izgradnji LHC (engl. *Large Hadron Collider*) akceleratora čestica [8].

Jedna od najvažnijih karakteristika VR-a leži u tome da korisnici mogu iskoristaviti postojeće kognitivne i motoričke sposobnosti za interakciju sa svijetom kojega opisuju granice senzora. Ovaj aspekt VR-a je iskorišten u raznim oblicima simulatora i sustava za obuku. Postoje mnoge primjene u praksi, kao što su simulatori za letenje [9], vožnju [10], kirurgiju [11] te mnogi drugi. S obzirom na napredak robotske industrije (koja i dalje ne pruža potpunu autonomnost, singularnost), veliki se dio istraživanja nepristupačnih područja (oštećene nuklearne elektrane, planeti...) vrši sa sigurne udaljenosti, koristeći VR tehnologiju. Na ovaj način, obučeni korisnici (uz pomoć simulatora) mogu bez opasnosti vršiti niz operacija i ako je potrebno u neočekivanim situacijama pravilno reagirati. Kada je korisnik u modu „prisutnosti s udaljenosti“ (engl. *telepresence*), na raspolaganju su mu dostatni podaci koje prima od senzora kako bi aproksimirao stvarnu prisutnost na udaljenosti. Korisnikov stereoskopski zaslon je povezan s robotskom 3D kamerom, a pokreti ruke su sinkronizirani s robotskim pokretima. U ovom je području najranije NASA počela vršiti istraživanja, a danas se vrhunac primjene ovakve tehnologije koristi u kirurgiji (Slika 1.3) [11].

Uz virtualnu stvarnost, veže nas i pojam proširene stvarnosti (engl. *augmented reality*) koji se temelji na prikazu stvarne okoline korisnika, s dodanim elementima – informacijama. Ovakav sustav isprva bio je namijenjen za jednostavne zadatke, kao što je navođenje pri izvršavanju određenih zadataka. Međutim, uznapredovale su sposobnosti obrade videa i slike u stvarnom vremenu, računalni grafički sustavi te nove tehnologije prikaza te se kao takve, objedinjene koriste kako bi korisnikovu okolinu ispunile trodimenzionalnim grafičkim oblicima i informacijama. Znanstvenici koji rade na unaprjeđivanju tehnologije proširene

stvarnosti predlažu ovaj pristup kao rješenje u mnogim područjima, kao što su vojna i medicinska obuka, inženjerstvo i dizajn (Slika 1.4), robotika, manufaktura, održavanje sustava, popravci itd.



Slika 1.3 VR primjena u kirurgiji



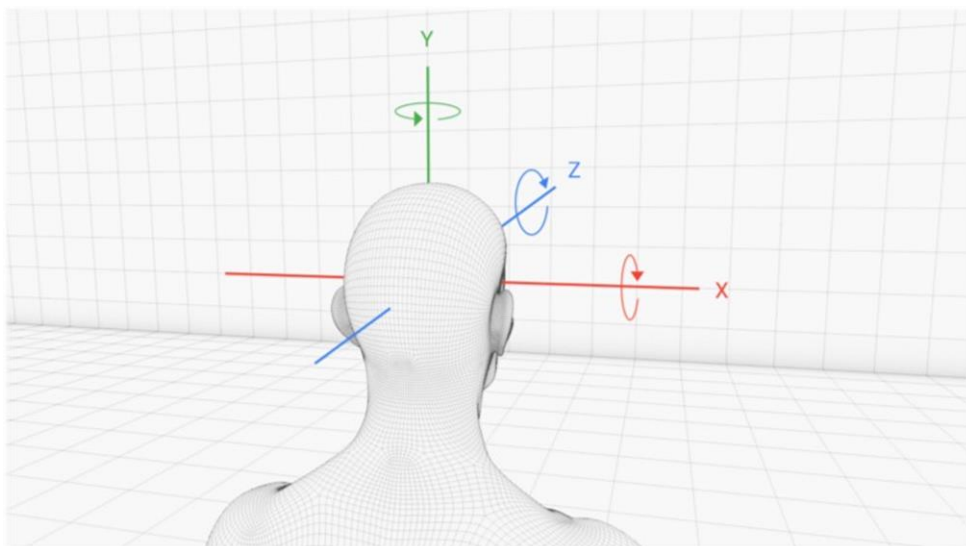
Slika 1.4 Dizajn uz pomoć proširene stvarnosti

2. Uvjeti

Cilj virtualne stvarnosti jest dočarati korisniku svijet koji u realnom vremenu reagira na njegove podražaje te je autonoman. Sami uvjeti za ostvarivanje primjene virtualne stvarnosti definirani su analizom ulaznih i izlaznih kanala.

2.1. Korisnički unos

Ulazni podaci koji se snabdijevaju virtualnoj stvarnosti su oni koje korisnik emitira, pri čemu vrši interakciju s okolinom. Interakcija se vrši pokretima i manipulacijom, a komunikacija glasom, gestama i izrazima lica [12]. Iz praktičnih razloga, moguće je ograničiti korisnički unos na samo par odabranih parametara. Na primjer, ruka ima veliki stupanj slobode u relativno malom području, pa je praćenje pokreta ruke dovoljno za izvršavanje većinu zadataka. Nadalje, kako bi korisnik primao „stereo slike“ koordinirane svojim pokretima, u realnom se vremenu vrši analizirala korisničkog gledišta, odnosno prate se glava (slika 2.1) i oči.



Slika 2.1 Analiza gledišta, praćenje glave i očiju

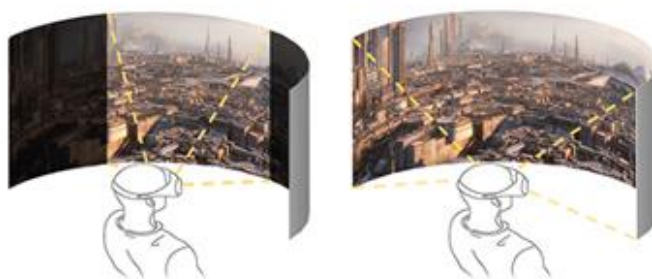
2.2. Povratna informacija

Naš osjećaj fizičke stvarnosti je konstruiran od simboličkih, geometrijskih i dinamičkih informacija, direktno predanih našim osjetilima. Izlazni kanali virtualne stvarnosti stoga odgovaraju našim osjetilima: vid, dodir, njuh, sluh, okus te percepcija sile. Iz tog razloga, u srcu tehnologije virtualne stvarnosti, leži simulacija osjetila [13].

2.2.1. Vizualna percepcija

Vid se generalno, s obzirom na njegovu osjetljivost, smatra najdominantnijim osjetilom i postoje dokazi koji upućuju na to da je ljudska kognitivnost orijentirana oko vida. Visoko kvalitetna reprodukcija slike je iz tog razloga od iznimne važnosti kada je riječ o virtualnom okruženju [14]. Glavni aspekti koji utječu na ukupnu kvalitetu vizualnog dojma kod korisnika su sljedeći:

- **Percepcija dubine:** stereoskopski pogled je primarni ljudski vizualni mehanizam za percepciju dubine. S obzirom na to da su ljudske oči, u prosjeku razmaknute 6,3 cm, geometričke vrline stereoskopije se gube na objektima daljima od 30 m, a jako su izražene na manjim udaljenostima. Veliku ulogu također igraju i drugi parametri, kao što su konvergencija i prilagodba očiju, vidni kut, veličine, teksture, sjene itd.
- **Kut vizualne prostorne pokrivenosti:** ukupna horizontalna prostorna pokrivenost ljudskog vida za oba oka iznosi otprilike 180° bez pokreta očiju i glave. Pri fiksnoj poziciji glave, ali pomicanjem očiju, pokrivenost se širi na 270° .



Slika 2.2 Vizualna prostorna pokrivenost (VR)

Vertikalna pokrivenost vida iznosi oko 120° . Nije potrebno ispuniti u potpunosti prostornu pokrivenost vida kako bi korisnik potpuno uronio u virtualni svijet. Dovoljno je za horizontalnu prostornu pokrivenost ispuniti 110° .

- **Kritična frekvencija stapanja slike:** vizualne simulacije ostvaruju iluziju animacije brzim izmjenjivanjem statičnih slika. Kritična frekvencija fuzije je frekvencija izmjene slika pri kojoj ljudsko oko nije u mogućnosti raspoznati statične slike. Ova je frekvencija proporcionalna osvjetljenju i veličini područja pokrivenog mrežnicom [14], [15]. U računalnoj grafičkoj industriji navodi se da ispod 10-15 Hz, kretanja objekata neće biti kontinuirana, što rezultira smetnjama (Slika 2.3). Primjene VR-a pri visokim brzinama, poput simulacije leta, zahtijevaju vizualnu povratnu informaciju na frekvencijama većim od 60 Hz.



Slika 2.3 Razlika u frekvenciji izmjene slika.

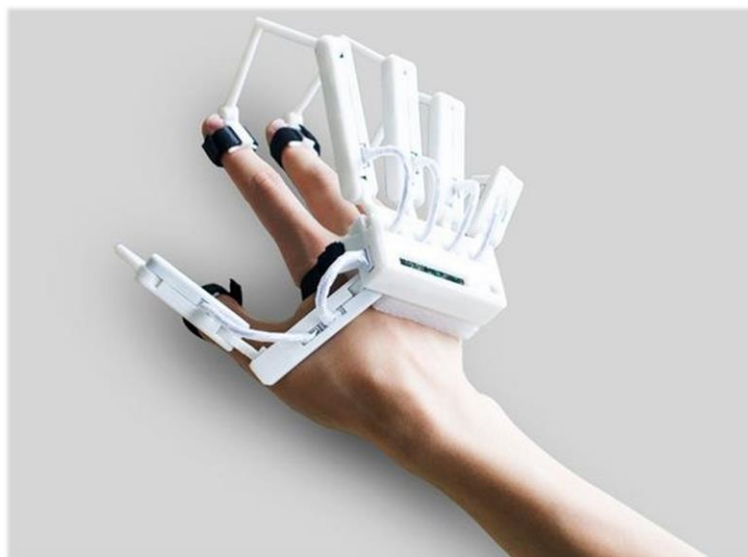
2.2.2. Percepcija zvuka

Generalno analizirajući osjetila, možemo reći da je vid naše primarno osjetilo. Sluh većinom koristimo za verbalnu komunikaciju, kako bi dobili informaciju iz očima nedostupnog prostora, odnosno kada oči ne pružaju dovoljno informacija. Zvukom se koristimo da bi u prostoru pozicionirali izvore te ga se može povezati s generatorom govora za verbalnu komunikaciju s računalom. Kod ljudi, slušni organ je najefikasniji između 1000 i 4000 Hz, s padom efikasnosti prijeđe li frekvencija gornju ili donju granicu. Prostorna orijentacija se svodi na razliku udaljenosti između ušiju i izvora zvuka. Ovim internim navođenjem se koristimo pri određivanju azimutalne usmjerenosti (lijevo ili desno), koje je vrlo precizno [16].

Spoznajom o tim svojstvima, moguće je proizvesti 3D zvučne sustave koji posjeduju neka zanimljiva svojstva, kao što su: simulacija Dopplerovog pomaka dok objekt putuje pokraj slušatelja, kontrola kontinuiranih zvukova, mogućnost ultrazvučnog mapiranja prostorijske i druge.

2.2.3. Percepcija sile, dodir i pozicija

Osjetila vida i mirisa koristimo samo za opažanje, no osjet dodira je sposoban osjetiti što se događa u okolini ljudskog bića, ali i djelovati na okolinu. Iz tog je razloga dodir neizostavan dio mnogih ljudskih aktivnosti za koje VR čim realnije mora pružiti ulazne kanale i zrcaliti izlazne kanale. Primarne ulazno/izlazne varijable osjetila dodira su deformacije i sile. Ulazne informacije se dijele na dodirne i kinestetičke, a razlikuju se u



Slika 2.4 „Rukavica” za mjerenje prinesene sile

sljedećem. Ako ruka obuhvati određeni objekt, prvotni osjet je dodir receptora kože koji nam prenosi informaciju o obliku i teksturi objekta. Ako ruka prinese više sile, pristižu nam kinestetičke informacije o poziciji i pokretu šake i ruke te sile koje djeluju na njih (Slika 2.4), kao i informacije o površinskoj popustljivosti, a ne rijetko i težini. Da bi se objektom manipuliralo, pomaknulo ga se, rotiralo ili pak uštipnulo, sustav mora izdati naredbu motorima koji vrše silu na objekt. Snažni stisak se postiže vršenjem sile prstima i dlanom, a precizno hvatanje se vrši koristeći samo vrhove prstiju.

Dva glavna aspekta kod simulacije silom koji utječu na zahtjeve VR-a su maksimalna veličina sile i frekvencija povratne informacije. Naravno, sve ovisi o primjeni, no neke standardne vrijednosti za veliki broj objekata su iznos sile od 10 N [16] te frekvencija povratne informacije od 1 kHz. Još jedna važna varijabla na koju treba obratiti pažnju u virtualnoj stvarnosti je osjet ravnoteže, odnosno orijentacije. Dva primarna sustava koja su zadužena za ovu percepciju su vizualni i vestibularni sustavi. Vestibularni sustav je dvojan, odnosno može biti senzorni i motorni sustav. Kada ima ulogu senzora, vestibularni sustav pruža informaciju o poziciji i kretanju glave, s obzirom na gravitaciju, odnosno neku drugu inertnu silu. U motornom smislu, vestibularni sustav igra važnu ulogu u kontroli držanja, tj. kontroli centra mase i stabilizaciji glave.

2.2.4. Percepcija mirisa

Glavni problem kod simuliranja ljudskog osjetila njuha leži u činjenici da su mnoga pitanja o tome kako on zapravo radi ostala neodgovorena. Jasno je da su molekule koje prenose mirise u nosu uhvaćene od strane receptorskih neurona, ali je nejasno kako mozak generira uzorke za prepoznavanje, pri čemu izolira određene mirise od drugih i rekonstruira ono što nedostaje. Dokazano je čovjek može njuhom identificirati oko trećinu mirisa, u neprisustvu drugih osjetila, kao na primjer vida [17].



Slika 2.5 Uređaj za simulaciju osjetila mirisa s izmjenjivim mirisnim kapsulama

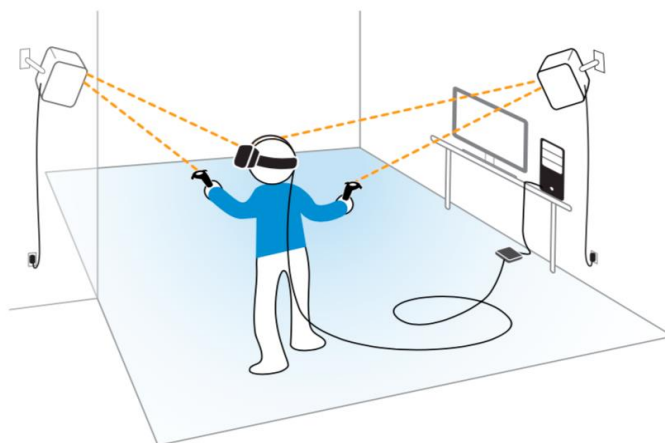
S druge strane, ljudska sposobnost detekcije mirisa je vrlo osjetljiva. Također, lakše je detektirati porast u koncentraciji nekog mirisa, nego pad u koncentraciji. VR uređaj (Slika 2.5) koji bi pružao korisniku osjet mirisa, mora također pružiti i mogućnost filtriranja zraka.

3. Hardverska rješenja za doživljaj virtualne stvarnosti

Trenutno, na tržištu se mogu naći različiti uređaji za doživljaj virtualne stvarnosti. Neki od njih su VR naočale, 3D zvučni sustavi, uređaji za zrcaljenje pokreta svakog dijela tijela, sustavi za mapiranje prostorijske (laserski i ultrazvučni), govorni sintetizatori, uređaji za prepoznavanje govora, pa čak i uređaji za otpuštanje mirisa, sve kako bi se u potpunosti prepustili nesvakidašnjosti virtualne stvarnosti.

3.1. Praćenje pozicije / orijentacije

U VR sustavima, praćenje položaja glave je najvažnija ulazna informacija kada je riječ o uranjanju u virtualnu stvarnost. Uređaji koji se koriste za praćenje položaja glave se također mogu implementirati za praćenje položaja drugih dijelova tijela (rukavice, odijelo). Mnogo je tehnologija koje se koriste za prostorno praćenje dijelova tijela. Mehanički sustavi mjere promjene pozicije fizički povezujući udaljen objekt na referentnu točku spojnim vezama. Vrlo su precizni, imaju malo kašnjenje i zgodni su za praćenje objekata s malim volumenom, no podložni su mehaničkom trošenju materijala.



Slika 3.1 Sustav praćenja pozicije IR senzorima

Magnetske sustave tvore parovi odašiljača magnetskog polja i prijamnika, sposobnih da utvrde kojom snagom i pod kojim kutem na njih djeluje polje. Relativno su jeftini i precizni, no podložni su distorzijama polja i elektromagnetskoj interferenciji. Optički sustavi (Slika 3.1) mogu koristiti raznovrsne optičke detektore za detektiranje ambijentalne rasvjete ili svjetla emitiranog od strane uređaja za praćenje pozicije (uobičajeno je da se koristi

infracrveno svjetlo kako bi se izbjegla interferencija s drugim izvorima). Rade na relativno velikim područjima i nisu podložni smetnjama, no teški su i skupi. Ultrazvučni sustavi koriste tri mikrofona i tri odašiljača da bi se triangulacijom odredila udaljenost između izvora i odašiljača. Ovakav sustav je jeftin i lagan, no podliježe smetnjama i ima malu preciznost jer brzina zvuka u zraku varira, a pojavljuje se i jeka. Inertni sustavi koriste brzinometre i žiroskope kako bi odredili kutnu brzinu oko svake osi i promjene u položaju. Imaju neograničen domet i vrlo su brzi, no mogu detektirati samo 3 stupnja slobode, neprecizni su kada je riječ o sporim promjenama položaja te su skupi.

3.1.1. Praćenje očiju

Uređaji za praćenje očiju rade ponešto drugačije. Ne mjere poziciju ni orijentaciju glave, već detektiraju smjer u kojemu gledaju oči korisnika u zadanom trenutku. Ova se informacija koristi kako bi se u realnom vremenu zaslon prilagodio korisniku. Uređaji za praćenje pogleda očiju realizirani su na više načina; optički, elektrookularno i elektromagnetski. Komercijalno najrašireniji su optički uređaji koji koriste infracrveno LED (engl. *Light Emitting Diode*) svjetlo kako bi osvijetlili oko pri čemu se generira refleksija na rožnici pomoću koje se ustanovi smjer gledanja korisnika. Elektrookularni pristup koristi elektrookulogram (engl. *electrooculogram*) [22] koji elektrodama na koži mjeri potencijal generiran unutar oka, metabolički aktivnim epitelom rožnice. Ovaj način praćenja očiju je u potpunosti neinvazivan, ali je i manje stabilan te zahtjeva čestu rekalkibraciju. Elektromagnetski pristup određuje smjer pogleda tako što mjeri magnetski inducirane vrijednosti na zavojnici koja se nalazi unutar leće na oku. Svi ovi pristupi imaju dobru frekvenciju odziva (do 500 Hz), no svi su, također poprilično skupi [23].

3.1.2. Kretanje cijelog tijela

Pod kretanje cijelog tijela podrazumijevamo dva načina kretanja: pasivno i aktivno samokretanje. Pasivno kretanje se izvodi simulacijom vozila određene tehnologije. Uobičajena praksa je izgradnja kabine koja predstavlja fizičko vozila i njegove kontrole, te se postavlja na pokretnu platformu sa zaslonima koji reproduciraju virtualnu okolinu. Okolina se mijenja u odnosu na utjecaj korisnika. Ovakve se instalacije specijalizirano koriste za simulatore leta i predstavljaju prvu praktičnu VR primjenu za vojne pilote prilikom obuke, a u posljednje se vrijeme ova tehnologija sve više primjenjuje i u svrhu zabave. Za razliku od

pasivnih, sučelja za samokretanje se definiraju kao slučajevi gdje se korisnik sam kreće kroz okolinu virtualne stvarnosti. Ovo se, uobičajeno izvodi tako da se tijelo poveže sa žiroskopom, pružajući mu slobodu od 360° za kut skretanja, nagib i koturanje.

3.1.3. VR naočale

- **Oculus Rift** je vizualno sučelje za prikaz virtualne stvarnosti, proizvedeno od strane „Oculus VR-a“, a u prodaji je od 28. ožujka, 2016.. Rift je prije finalne verzije prošao kroz mnoga testna razdoblja, od kojih je pet bilo demonstrirano javnosti. Sadržava OLED (engl. *organic light-emitting diode*) zaslon, podržava rezoluciju od 1080x1200 po oku, te pri brzini osvježavanja od 90 Hz pruža 110° prostorne pokrivenosti [18]. Ima integrirane slušalice s podržanim 3D efektom te pruža praćenje pozicije i rotacije. Sustav za praćenje pozicije, nazvan „Constellation“ (zvijezde), izveden je USB (engl. *Universal Serial Bus*) stacionarnim infracrvenim senzorom koji ubire svjetlo emitirano od strane IR LED dioda, integriranih u sučelju. Senzor je uobičajeno postavljen na korisnikovoj radnoj površini te stvara 3D prostor u kojemu omogućuje korisniku upotrebu Rifta sjedeći, stojeći ili pak hodajući kroz prostoriju. Oculus naglašava da je Rift, primarno, sučelje namijenjeno igračoj zajednici. Međutim, Rift nije predviđen samo za igre, već svoju primjenu pronalazi i u medijima. Pri kupnji ovog sučelja, dolazi i „Oculus Cinema“, besplatna aplikacija koja dozvoljava korisnicima da gledaju uobičajene videozapise i filmove unutar virtualne „kino okoline“, pružajući percepciju sagledavanja sadržaja na velikom platnu [18], [19]. Oculus Cinema također podržava umreženost, pri čemu više korisnika može gledati video sadržaj u istoj virtualnoj okolini, vidjeti avatare jedni drugih te vršiti međusobnu interakciju dok dijele videosignal.

Rift također nudi mogućnost sagledavanja potpuno nove vrste 360° 3D sadržaja i „filmova virtualne stvarnosti“. Uz igrice i medije, Rift svoju primjenu pronalazi i u zoni socijalnih mreža te u industrijskoj (profesionalnoj) zoni. Tako je, početkom 2015., Audi počeo koristiti „Rift Developer Kit 2“ u prostorijama svojih trgovina kako bi vizualno pomogao kupcima koji žele vršiti prilagodbe na vozilima po narudžbi. Kupci, također mogu vidjeti i kako izgleda utrkivati se u istom vozilu.

- **PlayStation VR** je sučelje za virtualnu stvarnost koje proizvodi Sony kompanija te je namijenjeno igraćoj konzoli „PlayStation 4“ [20]. Za korištenje ovog sučelja, potrebno je imati i PlayStation kameru koja, slično kao senzori za Rift, korisnika smješta u virtualni prostor. PlayStation VR sučelje sadržava 1080p OLED zaslon te pri brzini osvježavanja od 120 Hz, pruža prostornu pokrivenost pogleda od 100°. Kako bi vršio interakciju s okolinom, korisnik u rukama drži „PlayStation Move“ komandne palice koje se, prema povratnoj informaciji korisnika, nisu pokazali odveć preciznima [21].
- **HTC Vive** je, po mnogima, trenutno najbolje VR vizualno sučelje na tržištu. „Kao da je istrgnuto iz stranica romana znanstvene fantastike!“, komentari su zadovoljnih korisnika [24]. Sučelje je malo teže u usporedbi s Oculus Riftom i PSVR-om (engl. *PlayStation Virtual Reality*), međutim to postaje u potpunosti neprimjetno jednom kada se uroni u Vive-ov virtualni svijet [25]. Rezolucija koju Vive podržava je 2160x1200 na OLED zaslonu pri brzini osvježavanja od 90 Hz, a kut prostorne pokrivenosti iznosi 110°.



Slika 3.21 HTC Vive / Oculus Rift / PlayStation VR naočale

- **Microsoft HoloLens** sučelje, uređaj je koji izgledom podsjeća na sunčane naočale, no zapravo je prozor u svijet proširene stvarnosti (engl. *augmented reality*). Ovo je prvo, samodostatno holografsko računalo [26]. Sastavljeno je od specijaliziranih komponenti koje omogućavaju veliku obradu podataka u kratkom vremenu te pružaju nesmetano kretanje i interakciju korisnika s hologramima. S obzirom na to da ima više procesorske snage od prosječnog laptopa, ugrađeno je pasivno hlađenje bez ventilatora, a povezivost s računalom se vrši bez kabela. Prozirne visoko-rezolucijske holografске leće, koristeći napredne optičke sustave projekcije, generiraju

multidimenzionalne slike s iznimno malim kašnjenjem [27]. Sučelje dolazi s 24-jezgrenim procesorom koji je sposoban obraditi iznimnu količinu podataka koju mu predaju senzori. Ono prepoznaju geste, zna u kojem pravcu korisnik gleda i u realnom vremenu oko korisnika mapira prostor (slika 3.3). Sposobno je uzimati glasovne naredbe, a hologrami se kontroliraju gestama ruke i pogledom korisnika.



Slika 2 Microsoft HoloLens

Uz navedena VR sučelja, postoji mnoštvo drugih koja pružaju korisnicima mogućnost imerzije u virtualnu okolinu, ali nisu na jednakoj razini kvalitete. Najjeftiniji uređaji za reprodukciju virtualne stvarnosti na tržištu trenutno su Samsung Gear VR, koji koristi Samsungov mobilni uređaj kao zaslon te Google Cardboard koji radi na istom principu, samo je napravljen od kartona.

4. Softverska podloga za virtualnu stvarnost

Poteškoće povezane s postizanjem cilja potpunog prepuštanja osjetila virtualnoj okolini, rezultirale su koncentracijom istraživanja usko usmjerenim na razvitak uređaja za prikaz virtualne stvarnosti (VR naočale, 3D zasloni). Međutim, s tehnologijom koja bi trebala interpretirati samu interakciju s tom okolinom se nije previše napredovalo. Tek se odnedavno znanstvena zajednica odvažila da „preskoči virtualni zid“ i ove sintetičke svjetove interpretira kao nešto više od samih fizičkih podataka.

4.1. Komunikacija čovjeka i stroja

Oduvijek se težilo tome da interaktivni programi uspostave određenu dvosmjernu komunikaciju s ljudima. Takva vrsta komunikacije bi za nekog tko se s programom prije nije sreo, trebala biti jednostavna, razumljiva i nerepetitivna [28]. Program bi trebao korisniku pružiti način i slobodu uređenja ulazne informacije, odnosno implicirati na ograničenja, ako ih ima u određenom smislu. Kao što se za 2D komunikaciju s računalom uspješno implementirala metafora radne površine (*desktop*), tako je na programerima današnjice zadatak da osmisle 3D „radni prostor“ koji će korisnika privući te postići sveobuhvatnost i funkcionalnost, a pri tom zadržati jednostavnost.

4.1.1. Iterativni postupak izgradnje

Dobra korisnička sučelja se etiketiraju kao „*user friendly*“ i „*easy to use*“, što su subjektivne kvalitete, a da bi se do njih došlo, Myers kaže:

„Jedini pouzdan način da bi se proizvelo kvalitetno korisničko sučelje jest da se svaku verziju iznova testira s korisnicima, uzmu njihovi komentari i naprave preinake“ [29].

Višestruko ponavljanje izrade sučelja (s manjim ili većim preinakama) je nužno za napredak i teško je predvidjeti koliko vremena je potrebno dok se ne dođe do zadovoljavajućih rezultata. Istraživanje na projektima koji uključuju korisnička sučelja [30], pokazalo je da je u više od 90% slučajeva korišten ovakav pristup postupnog napretka u područjima dizajna i implementacije. Isto istraživanje ukazuje i na činjenicu da je prosječno 48% programerskog koda takvih projekata, posvećeno načinima približavanja korisničkih sučelja korisnicima.



Slika 3 Korištenje „alatnih kutija” unutar virtualne okoline (HTC Vive)

Uz statistiku, naglašena je i važnost alata, odnosno „alatnih kutija“ (Slika 4.1) kojima se korisnik služi unutar sučelja te mogućnosti organizacije koje su mu na raspolaganju. Kada je riječ o virtualnoj okolini, ne postoji standardno rješenje, uzorak kojim bi se predvidjelo ponašanje korisnika u određenim situacijama [31]. S tim na umu, u više se smjerova istovremeno razvijaju softveri koji će pružiti potporu rapidnom prototipiranju 3D sučelja, interaktivnih ilustracija i 3D tehnoloških dodataka.

4.1.2. Paralelno programiranje

Interaktivne VR aplikacije imaju zadatak obrade podataka koje unosi korisnik, pri dinamičnoj izmjeni svijeta koji ga okružuje. Da bi ovo bilo moguće, neophodno je da aplikacije podnose promjene u realnom vremenu, unutar svijeta koji se generira jedinstveno, svaki put kad se simulacija pokrene. To uvjetuje da softver koji se razvija radi u paralelnom modu, odnosno u kombinaciji kvazi, pseudo i realnog paralelizma [29]. Multimodalni aspekt virtualnog okoliša jednostavno nameće potrebu korištenja uravnoteženog paralelizma jer mnogo komponenti u realnom vremenu prima ulazne podatke, vrši obradu istih i šalje ih na izlaz (10 Hz za vizualnu, a 1 kHz za dodirnu povratnu vezu).

4.1.3. Performanse

Sustavi koji podržavaju aplikacije virtualne stvarnosti imaju vrlo rigorozne uvjete vezane za performanse samih sustava. Na primjer, loša vizualna povratna veza može u potpunosti poništiti iluziju animacije, a veliko kašnjenje može čak proizvesti mučninu (engl. *simulation sickness*) i gubitka osjećaja kontrole. Da bi bile prostorno-vremenski realne, time i efektivno korisne, uvjeti performansi VR aplikacije moraju biti ispunjeni. Ova osjetljivost ljudi na kašnjenje te vizualnu frekvenciju povratne veze, uzrokuju upotrebu posebne tehnike kako bi ih se umanjilo.

4.1.4. Robusnost

Ugovorni model softverskog programiranja je način objašnjenja ponašanja određene jedinice softvera. Ovim modelom, sve pretpostavke i zaključci opisuju korist i obavezu unutar ugovora koji povezuje isporučitelja softvera s njegovim korisnicima. Softver korisničkih sučelja je prisiljen imati slabe pretpostavke, jer se malo toga može pretpostaviti vezano uz njegovo ponašanje kada dospije u vanjski svijet. Ovo tim više otežava realizaciju i verifikaciju finalnog produkta.

4.1.5. Modularizacija

Modularizacija je postupak raščlanjivanja i organiziranja u module. S tim na umu, kreiranje i održavanje nekog dijela softvera se pojednostavnjuje raščlanjivanjem cjelina povezanih relativno slabim vezama. Na isti ih se način može i odvojeno razvijati, odnosno izolirane testirati [33]. Na žalost, potpuno rastavljanje između korisničkog sučelja i softvera je teško izvedivo. Također, potreba za povratnim informacijama koje su povezane s raznim operacijama, ima tendenciju povećanja broja spojnica između softvera i korisničkog sučelja. Ova činjenica često tjera na promjenu unutrašnjosti softvera zbog promjene korisničkog sučelja.

4.1.6. Prezentacija informacija

Kada dođe do prezentiranja informacija u 3D prostoru, javljaju se problemi koji nisu prisutni u radu s klasičnim, 2D sučeljima. Nove izazove, ali i mogućnosti vizualizaciji zadaju

okluzija i efekti percepcije. Tretiranje 3D informacija je složenije od 2D (uglavnom zbog kompleksnosti 3D geometrijskog prostora) te također, rad u 3D-u zahtjeva podosta više spretnosti.

5. Zaključak

Tehnologija virtualne stvarnosti se razvijala kroz dugi period i ponuda simulirane prisutnosti korisnicima kao metafora sučelja (kao što je za 2D sučelja „*desktop*“) kojom bi uronili u virtualni svijet, postala je cilj istraživanja za rastuću znanstvenu i industrijsku zajednicu. U zadnje se vrijeme postižu zavidni rezultati i možemo napokon reći da je virtualna stvarnost, stvarno ovdje. Sve više istraživanja pokazuje na korist evolucijske i revolucijske perspektive. Evolucijska perspektiva je dostavila vrhunska korisnička sučelja, a revolucijska je omogućila primjenu virtualne stvarnosti na prije nezamislivim područjima. Primjeri područja koja koriste od VR tehnologije su virtualno prototipiranje, simulacije i obuke, rad i prisustvo na područjima s udaljenosti te proširena stvarnost. No, kako sve napreduje, stvaranje profesionalnih VR aplikacija ostaje neizmjereno kompleksan zadatak, s obzirom na to da podrazumijeva kreaciju softvera čije kvalitete i ograničenja diktiraju ljudski faktori.

Marketinška situacija VR-a je vrlo fluentna, zahvaljujući mnoštvu inovacija i različitih iteracija istog proizvoda od strane raznih proizvođača. Tako da tehnologija, iako spremna za profesionalnu primjenu, još uvijek nije u stadiju propisivanja definitivnih standarda, odnosno referentnih točaka za sve perspektive. Ova se nesigurnost ne smije zamijeniti s manjkom samopouzdanja u obećavajuću nadolazeću tehnologiju, već se opisuje rapidnom mutacijom i evolucijom koja karakterizira tržište, koje pak možda premašuje sva ostala tržišta informacijske tehnologije.

Iako iz hardverske točke gledišta, još uvijek nemamo potpunu vjernost senzora, pa čak ni onih najboljih i najskupljih, danas postoji mnogo istraživanja i komercijalnih rješenja koja su uspješna u praktičnoj primjeni. Općenito, za veliki broj primjena danas, glavno ograničenje leži u softveru jer trenutno ne postoji ni jedan sustav koji bi podržavao sve aspekte kreacije aplikacije virtualne stvarnosti. Najčešće, da bi se ostvarila određena primjena, koriste se višestruki uređaji u kombinaciji te se dosjetljivim rješenjima integriraju u softver. Ali, važno je napomenuti da je kreacija višemodalne VR arhitekture, otvorena tema na kojoj se radi.

Na kraju bi se moglo reći da tajna uspješne implementacije profesionalne VR primjene, uzevši u obzir kompleksnost VR-a, važnost ljudskog faktora i manjak standardiziranih rješenja, leži u postavljanju realnih očekivanja za tehnologiju. Sasvim je normalno da nam je nejasno što točno VR može i ne može raditi, kao i imati negativne reakcije kada primijetimo da VR „nije baš tako stvaran“. Kao za svaku tehnologiju, pa tako i za kompleksnu tehnologiju kao što je VR, važno je za odgovarajuću primjenu usporediti mogućnosti uređaja konkurentnih proizvođača, uvjeriti se da je naš odabir moguće integrirati i s otvorenim umom ovladati svijetom virtualne stvarnosti.

Literatura

- [1] Sutherland, I. E., "The ultimate display", Vol. 2, pp. 506–508
- [2] Carr, K., England, R., "Simulated and Virtual Realities"
- [3] Fisher, S. S., McGreevy, M., Humphries, J., Robinett, W., "Virtual environment display system", pp. 77–87
- [4] Gobbetti, E., Balaguer, J., "An integrated environment to visually construct 3D animations"
- [5] Balaguer, J.-F., De Gennaro, S., "VENUS: A virtual reality project at CERN", Computer Graphics, pp. 40–48
- [6] Brooks, Jr., F. P., "Walkthrough —A dynamic graphics system for simulating virtual buildings", pp. 9–21
- [7] Mcneely, W., "Boeing's high performance visualization software: Flythru", CERN računalni seminar, Lipanj 1996.
- [8] Balaguer, J.-F., Gobbetti, E., "i3D: A high speed 3D web browser"
- [9] Moroney, W. F., Moroney, B. W., "Utilizing a microcomputer based flight simulation in teaching human factors in aviation", Vol. 1 of Educators' Professional: "Use of Microcomputers in Teaching Human Factors in Aviation", pp. 523–527
- [10] Bayarri, S., Fernandez, M., Perez, M., "Virtual reality for driving simulation", pp. 72–76
- [11] Zajtchuk, R., Satava, R. M., "Medical applications of virtual reality", pp.63–64
- [12] Balaguer, J.-F., Mangili, A., "Virtual environments. In New Trends in Animation and Visualization"
- [13] Carr, K., England, R., "Simulated and Virtual Realities"
- [14] Kosslyn, S., "Image and Brain: The resolution of the imagery debate"
- [15] Davson, H., "Physiology of the Eye"
- [16] Youngblut, C., Johnson, R. E., Nash, S. H., Wienclaw, R. A., Will, C. A., "Review of virtual environment interface technology"
- [17] Zellner, D., Bartoli, A., Eckard R., "Influence of color on odor identification and liking ratings", pp. 547–561
- [18] https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus_Rift, lipanj 2017.
- [19] <http://www.wearable.com/oculus-rift/how-oculus-rift-works>, lipanj 2017.
- [20] https://en.wikipedia.org/wiki/PlayStation_VR, lipanj 2017.

- [21] <http://www.cnet.com/products/sony-playstation-vr/>, rujan 2017.
- [22] <https://en.wikipedia.org/wiki/Electrooculography>, rujan 2017.
- [23] <https://techcrunch.com/2014/09/09/fove/>, lipanj 2017.
- [24] <http://www.techradar.com/reviews/wearables/htc-vive-1286775/review/2>, lipanj 2017.
- [25] <http://www.digitalspy.com/gaming/review/a790129/htc-vive-review-price-hardware-games-and-apps/>, lipanj 2017.
- [26] <http://www.techradar.com/reviews/wearables/microsoft-hololens-1281834/review>, rujan 2017.
- [27] <http://www.wearable.com/microsoft/microsoft-hololens-everything-you-need-to-know-about-the-futuristic-ar-headset-735>, rujan 2017.
- [28] Marcus, A., “Metaphor design in user interfaces: How to manage expectation, surprise, comprehension, and delight effectively”, vol. 2, pp. 172–173
- [29] Myers, B. A., “Why are human-computer interfaces difficult to design and Implement?”
- [30] Myers, B. A., Rosson, M. B., „Survey on user interface programming”
- [31] Hand, C., “Survey of 3D interaction techniques”, pp. 269–281
- [32] Wloka, M., “Lag in multiprocessor virtual reality“, pp. 50–63
- [33] Rosson, M. B., Maass, S., Kellogg, W. A., “Designing for designers: An analysis of design practice in the real world“, pp. 137–142